

# 小麦/玉米间作优势及地上部与地下部因素的相对贡献研究

李来祥<sup>2</sup>, 刘广才<sup>1</sup>, 李 隆<sup>3</sup>

(1. 甘肃省农业技术推广总站, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省天水市农业技术推广站, 甘肃 天水 741000;

3. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

**摘要:** 采用田间微区试验以及地下部种间根系分隔技术研究了玉米覆膜与不覆膜两种情况下小麦/玉米间作优势及地上部因素和地下部因素对间作优势的相对贡献。结果表明, 玉米不覆膜时小麦/玉米间作籽粒产量和生物产量土地当量比分别为 1.30、1.29, 具有明显的产量间作优势; 玉米覆膜时小麦/玉米间作籽粒产量和生物产量土地当量比分别为 1.41、1.40, 具有极显著的产量间作优势; 玉米不覆膜时小麦/玉米间作氮、磷、钾养分吸收优势明显, 玉米覆膜时小麦/玉米间作具有极显著的氮、磷、钾养分吸收优势。地上部因素和地下部因素对小麦/玉米间作中籽粒产量和生物产量间作优势的相对贡献, 当玉米不覆膜时分别为 75%、25%, 当玉米覆膜时均为地上部占 67%、地下部占 33%。当玉米不覆膜时, 地上部和地下部因素对小麦/玉米间作氮、磷养分吸收优势的相对贡献分别为 67% 与 33%, 钾则地上部与地下部贡献相等(各占 50%); 当玉米覆膜时, 地上部和地下部因素对小麦/玉米间作氮、钾养分吸收优势的相对贡献均具有同等重要性(各占 50%), 对磷吸收的贡献分别占 55% 与 45%。

**关键词:** 小麦/玉米间作; 间作优势; 地上部因素; 地下部因素; 相对贡献

**中图分类号:** S311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0074-07

间作优势已被大量试验研究<sup>[1~9]</sup>所证实, 明确种间地上部相互作用和地下部相互作用对间作优势的贡献, 对于间套作种植体系的管理和持续发展具有重要的意义。目前, 种间根系分隔技术(Root barriers)被认为是研究地上部和地下部因素对间作优势贡献的有效方法<sup>[10, 11]</sup>; Willey 和 Reddy<sup>[10]</sup>采用这种技术在 1 行谷子、3 行花生间作中证明了地上部因素的贡献大于地下部因素的贡献; 但 Snaydon 和 Harris<sup>[12]</sup>用这种方法对农林复合生态系统的研究证明地下部因素的贡献大于地上部因素的贡献。春小麦/春玉米间作是西北一熟制灌区甘肃河西走廊普遍的高产高效种植方式, 也是宁夏引黄灌区、内蒙河套地区的主要高效立体种植模式。然而, 关于春小麦/春玉米间作优势地上部因素和地下部因素的相对贡献仍鲜见报道。本文在田间种间根系分隔微区试验的基础上, 从小麦/玉米间作中产量和养分吸收间作优势及地上部因素和地下部因素对间作优势的相对贡献等几个方面全面系统地分析了小麦/玉米间作中间作优势产生的机理, 旨在为间作种植体系的增产和发展提供理论依据和指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况及供试土壤

试验于 2004~2005 年在甘肃省武威市永昌镇白云村(38°37'N, 102°40'E)进行, 海拔 1 504 m, 无霜期 150 d 左右, 年降雨量 150 mm。年蒸发量 2 021 mm, 年平均气温 7.7℃, 日照时数 3 023 h,  $\geq 10^\circ\text{C}$  的有效积温为 3 016℃, 年太阳辐射总量 140~158 kJ/cm<sup>2</sup>, 麦收后  $\geq 10^\circ\text{C}$  的有效积温为 1 350℃, 属于典型的两季不足、一季有余的自然生态区。供试农田为同一地块, 土壤为灌漠土, 耕层土壤有机质含量 9.7 g/kg、全氮 0.67 g/kg、碱解氮 37.05 mg/kg、速效磷 16.7 mg/kg、速效钾 124.4 mg/kg。

### 1.2 试验设计

利用田间种间根系分隔微区试验, 采用种植方式、覆膜方式、分隔方式 3 因素随机区组设计。种植方式为单作小麦、单作玉米、小麦/玉米间作; 覆膜方式为玉米覆膜、玉米不覆膜; 分隔方式为根系分隔、根系不分隔, 共(2×2+1)×2=10 个处理。

采用生产上广泛应用的 6 行小麦、2 行玉米的间作种植方式, 间作中小麦行距 12 cm, 玉米行距 39

收稿日期: 2007-03-26

基金项目: 国家重大基础研究发展项目(G1999011707); 国家自然科学基金项目(30070450)

作者简介: 李来祥(1956-), 男, 甘肃西峰人, 高级农艺师, 学士, 主要从事间套多熟种植、耕作与栽培等方面研究。E-mail: tssli1956@126.com。

通讯作者: 刘广才, E-mail: lgc633@163.com。

cm、株距 30 cm, 小麦与玉米间距为 25.5 cm, 一个间作带宽 1.5 m(图 1); 单作小麦等行距种植, 行距 12 cm; 单作玉米等行距种植, 行距 39 cm, 株距 30 cm。单作小麦与间作小麦在净占地面积上播种密度相同, 均为 600 万株/hm<sup>2</sup>; 单作玉米与间作玉米在净占地面积上播种密度相同, 均为 85 500 株/hm<sup>2</sup>。间作中小麦占地面积 48%, 玉米占地面积 52%。小区面积为 4.5 m×5.5 m, 每小区间作种 3 个组合带, 单作小麦种 38 行, 单作玉米种 12 行, 重复三次。全部处理均施 N 225 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg/hm<sup>2</sup>, 全部磷肥和 1/2 氮肥基施, 剩余氮肥小麦

结合头水按带追施, 玉米分别在拔节期和大喇叭期于灌水前按株穴追施, 间作和单作作物施肥方式相同。玉米覆膜实行先播种后覆膜, 间作玉米覆膜宽度 0.78 m(与玉米带宽度同), 单作覆膜玉米实行全覆膜。整个试验在水分充分满足条件下进行, 间作和单作作物浇水量和浇水次数相同, 小麦浇 5 次水、玉米浇 9 次水(共同生育期小麦与玉米同时浇水)。小麦品种为陇 17, 玉米品种为中单 2 号。小麦 3 月 18~20 日播种, 4 月 2~6 日出苗, 7 月 19~21 日收获; 玉米 4 月 21~24 日播种, 5 月 1~5 日出苗, 9 月 10 日~9 月 28 日收获, 两作物共生期 80 d 左右。

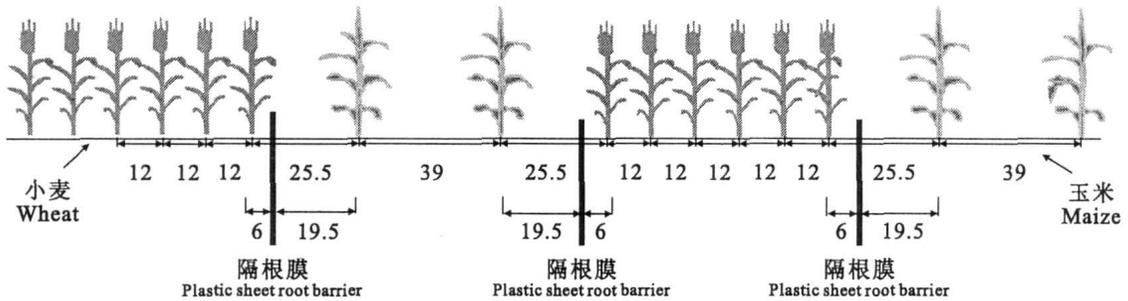


图 1 小麦/玉米间作中作物分布及根系分隔示意图

Fig. 1 Location of intercropped crops and partition of root in wheat/maize intercropping

根系分隔采用 0.12 mm 农用棚膜, 分隔长度为 2 m, 深度为 1 m。间作中小麦每 6 行为一个分隔单元, 玉米每 2 行为一个分隔单元, 隔根膜在小麦与玉米间距之间, 距小麦 6 cm, 距玉米 19.5 cm(图 1); 单作小麦每 6 行为一个分隔单元, 隔根膜在小麦行中间位置; 单作玉米每 2 行为一个分隔单元, 隔根膜在玉米行中间位置。间作中两种作物根系间用塑料膜分隔时, 由于塑料膜不允许作物根系及养分和水分穿过, 作物种间地下部的养分竞争和促进作用均被消除, 只有地上部种间相互作用; 种间根系不分隔时, 允许种间地上部和地下部相互作用同时发生。

1.3 测定项目及数据分析

1.3.1 地上部生物学产量和籽粒产量 在作物成熟时按行收获, 单收单打, 测定地上部生物学产量和籽粒产量。当比较间作与单作产量时, 均以可比面积即净占地面积为基础。

1.3.2 籽粒和秸秆的氮磷钾含量分析 用 H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 湿灰化法消煮, 凯氏定氮仪定氮; 钼钼黄显色, 岛津 UV-120 分光光度计比色测定磷; 火焰光度计测钾。当比较间作与单作养分吸收量时, 均以可比面积为基础。

1.3.3 间作优势 I(LE<sub>R</sub>) 应用土地当量比作为衡量间作产量优势的指标<sup>[13]</sup>:

$$LE_R = (Y_{iw}/Y_{mw}) + (Y_{ic}/Y_{mc}) \quad (1)$$

式中: Y<sub>iw</sub> 和 Y<sub>ic</sub> 分别代表间作总面积上小麦和玉米的产量, Y<sub>mw</sub> 和 Y<sub>mc</sub> 分别为单作小麦和单作玉米的产量。当 LE<sub>R</sub> > 1 时, 表明间作有优势; LE<sub>R</sub> < 1 为间作劣势。

1.3.4 种间相对竞争能力(Aggressivity) 是衡量一种作物相对另一种作物对资源竞争能力大小的指标<sup>[14]</sup>, 本研究中, 小麦相对玉米对资源竞争能力用下式计算:

$$A_{wm} = Y_{iw}/(Y_{mw} \times P_w) - Y_{im}/(Y_{mm} \times P_m) \quad (2)$$

式中: A<sub>wm</sub> 为小麦相对于玉米的资源竞争能力, P<sub>w</sub> 和 P<sub>m</sub> 分别为间作中小麦和玉米所占面积比例, 其余符号意义同 LE<sub>R</sub>。当 A<sub>wm</sub> > 0, 表明小麦竞争能力强于玉米; 当 A<sub>wm</sub> < 0, 玉米竞争能力强于小麦。

1.3.5 营养竞争比率 是度量一种作物吸收养分能力强弱的指标, 本文用小麦相对于玉米对养分的竞争比率来衡量养分竞争能力(CR<sub>wm</sub>)。根据 Morris<sup>[15]</sup> 提供的公式进行计算:

$$CR_{wm} = (PU_{iw}/PU_{mw}) \times F_m / (PU_{im}/PU_{mm}) \times F_w \quad (3)$$

式中: PU<sub>iw</sub> 和 PU<sub>im</sub> 分别为间作小麦和间作玉米的吸磷量, PU<sub>mw</sub> 和 PU<sub>mm</sub> 分别为单作小麦和单作玉米的吸磷量; F<sub>w</sub> 和 F<sub>m</sub> 分别为间作中小麦和玉米所

占比例。当  $CR_{wm} > 1$  时,表明小麦比玉米的营养竞争能力强;当  $CR_{wm} < 1$  时,表明小麦比玉米的营养竞争能力弱。

### 1.3.6 间作优势 II

间作优势 II ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) = 间作体系产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) - [单作小麦产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )  $\times 0.48$  + 单作玉米产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )  $\times 0.52$ ] (4)

式中,间作体系产量 = 间作中小麦的产量 + 间作中玉米的产量

### 1.3.7 间作养分吸收优势

间作养分吸收优势 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) = 间作养分吸收量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) - [单作小麦养分吸收量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )  $\times 0.48$  + 单作玉米养分吸收量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )  $\times 0.52$ ] (5)

## 2 结果与分析

### 2.1 间作优势

2.1.1 间作产量优势 由表 1 可以看出,玉米不覆膜条件下,种间根系不分隔时小麦/玉米间作中籽粒产量和生物学产量土地当量比 ( $LER$ ) 分别为 1.30、1.29,种间根系分隔时籽粒产量和生物学产量  $LER$  均为 1.20,表明小麦/玉米间作体系在玉米不覆膜时间作优势来自地上部种间相互作用和地下部种间相互作用两个方面;玉米覆膜条件下,种间根系不分隔时籽粒产量和生物学产量的  $LER$  分别为 1.41、1.40,间作优势显著,种间地下部分隔时籽粒产量和生物学产量的  $LER$  分别为 1.26、1.24,表明玉米覆膜时显著的籽粒产量和生物学产量间作优势也来自于地上部种间相互作用和地下部种间相互作用两个方面。

从可比面积上间作与单作的产量分析,无论玉米覆膜与否,间作小麦的籽粒产量和生物学产量都极显著地高于单作小麦;间作玉米籽粒产量和生物学产量也都极显著地高于单作玉米。这是由于小麦/玉米间作无论玉米覆膜与否,种间相互作用表现为明显的竞争。玉米不覆膜条件下,成熟期小麦相对玉米的资源竞争能力  $A_{wm}$ ,当种间根系不分隔时为 0.25,当种间根系分隔时为 0.08;玉米覆膜条件下,成熟期小麦相对玉米的资源竞争能力  $A_{wm}$ ,当种间根系不分隔时为 0.27,当种间根系分隔时为 -0.02。小麦对资源的竞争处于优势,竞争结束时间作小麦相对单作显著增产。而间作中玉米对资源的竞争处于劣势,小麦收获时间作玉米相对单作的生长率在玉米不覆膜条件下为 59.5%,在玉米覆膜条件下为 65.6%;当种间竞争结束后玉米由于在地上部扩大了光、热、气资源的吸收空间,在地下部由于扩大了水和养分的吸收范围,得到了明显的恢复生长<sup>[1,2]</sup>,在后期的生长中也表现出了显著的增产作用。

从玉米覆膜效应分析,覆膜极显著地增加了间作玉米籽粒产量和生物学产量,较不覆膜分别增加 14.1%、10.7%;而覆膜使单作玉米籽粒产量和生物学产量较不覆膜均增加 5.7%。玉米覆膜也明显地增加了根系不分隔间作小麦籽粒产量和生物学产量,较玉米不覆膜分别增加 8.0%、11.3%;而玉米覆膜对根系分隔间作小麦籽粒产量和生物学产量影响不明显,未达到 5% 显著水平。由此可见,玉米覆膜使小麦/玉米间作产量优势显著增加来自于间作小麦和间作玉米产量的大幅度提高两个方面。

表 1 小麦/玉米间作中各作物产量及其土地当量比<sup>a</sup>

Table 1 Yields of two crops and land equivalent ratios ( $LER$ ) in the wheat/maize intercropping<sup>a</sup>

项目 Items	分隔方式 Root barrier	小麦 <sup>b</sup> Wheat <sup>b</sup> ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )		玉米 <sup>c</sup> Maize <sup>c</sup> ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )		土地当量比 $LER$	
		间作 Intercropped	单作 Sole	间作 Intercropped	单作 Sole		
籽粒产量 Grain yields	玉米不覆膜 Without mulching	根系不分隔 No barrier	9259	7017	16413	12824	1.30
		根系分隔 Barrier	8076	6971	15959	12803	1.20
	玉米覆膜 Mulching	根系不分隔 No barrier	10004	7017	19112	13710	1.41
		根系分隔 Barrier	8184	6971	17810	13374	1.26
生物学产量 Biological yields	玉米不覆膜 Without mulching	根系不分隔 No barrier	18629	13975	32827	26149	1.29
		根系分隔 Barrier	16074	13670	31917	26049	1.20
	玉米覆膜 Mulching	根系不分隔 No barrier	20739	13975	36754	27980	1.40
		根系分隔 Barrier	16165	13670	34922	27197	1.24

注:① a, 表中产量结果均为两年各处理的平均值,表 2、3、4 同表 1; ② b,  $LSD_{0.05}=188, 424$ ,  $LSD_{0.01}=260, 588$ (分别指籽粒产量和生物学产量); ③ c,  $LSD_{0.05}=148, 289$ ,  $LSD_{0.01}=206, 400$ (分别指籽粒产量和生物学产量)。

Note: ① a, values of yield are means of different treatments in two years. The table 2, 3, 4 are same as table 1; ② b,  $LSD_{0.05}=188, 424$ ;  $LSD_{0.01}=260, 588$  (refer to grain yield and biological yield, respectively); c,  $LSD_{0.05}=148, 289$ ;  $LSD_{0.01}=206, 400$ (refer to grain yield and biological yield, respectively).

2.1.2 间作养分吸收优势 从可比面积上间作与单作氮、磷、钾吸收量看,间作小麦的氮、磷、钾吸收量无论玉米覆膜与否都极显著地高于单作小麦;间作玉米氮、磷、钾吸收量无论覆膜与否也都极显著地高于单作玉米(表 2)。这是由于无论玉米覆膜与否,种间都表现为明显的营养竞争。玉米不覆膜条件下,成熟期小麦相对玉米的氮、磷、钾营养竞争比率 CR 当种间根系不分隔时为 1.23、1.11、1.22,当种间根系分隔时为 1.06、0.97、1.06;玉米覆膜条件下,成熟期小麦相对玉米的氮、磷、钾营养竞争比率 CR 当种间根系不分隔时为 1.26、1.24、1.32,当种

间根系分隔时为 1.03、0.99、1.02。小麦对氮、磷、钾营养的竞争处于优势,竞争结束时间作小麦相对单作获得较多的氮、磷、钾营养。而间作中玉米对氮、磷、钾营养的竞争处于劣势,小麦收获时间作玉米相对单作氮、磷、钾营养吸收率在玉米不覆膜条件下分别为 70.3%、55.5%、67.9%,在玉米覆膜条件下分别为 82%、62.5%、50.7%;竞争结束后,由于玉米在地下部由于扩大了养分吸收空间和范围,养分吸收得到了明显恢复<sup>[1,2]</sup>,在后期生长中相对单作也获得了较多的氮、磷、钾营养。

表 2 小麦/玉米间作和单作中各作物养分吸收量

Table 2 Nutrient uptake by wheat and maize in intercropping and sole cropping at maturity

项目 Items	分隔方式 Root barrier	小麦 <sup>a</sup> Wheat <sup>a</sup>		玉米 <sup>b</sup> Maize <sup>b</sup>		
		间作 Intercropped	单作 Sole	间作 Intercropped	单作 Sole	
氮 Nitrogen (kg/hm <sup>2</sup> )	玉米不覆膜 Without mulching	根系不分隔 No barrier	281.3	202.7	340.4	266.1
		根系分隔 Barrier	238.7	199.0	320.1	258.8
	玉米覆膜 Mulching	根系不分隔 No barrier	308.7	202.7	417.3	309.4
		根系分隔 Barrier	241.9	199.0	350.8	283.4
磷 Phosphorus (kg/hm <sup>2</sup> )	玉米不覆膜 Without mulching	根系不分隔 No barrier	35.7	24.3	60.2	42.5
		根系分隔 Barrier	29.4	23.8	57.4	42.8
	玉米覆膜 Mulching	根系不分隔 No barrier	38.3	24.3	72.3	52.0
		根系分隔 Barrier	29.1	23.8	63.2	49.3
钾 Potassium (kg/hm <sup>2</sup> )	玉米不覆膜 Without mulching	根系不分隔 No barrier	285.7	194.6	298.0	204.1
		根系分隔 Barrier	224.2	188.4	256.4	198.5
	玉米覆膜 Mulching	根系不分隔 No barrier	327.5	194.6	321.8	229.8
		根系分隔 Barrier	223.1	188.4	289.8	221.1

注:① <sup>a</sup>LSD<sub>0.05</sub>=7.2、1.1、12.1, <sup>a</sup>LSD<sub>0.01</sub>=10.0、1.5、16.7(分别指氮、磷和钾); ② <sup>b</sup>LSD<sub>0.05</sub>=9.2、2.0、4.0, <sup>b</sup>LSD<sub>0.01</sub>=12.8、2.7、5.5(分别指氮、磷和钾)。

Note: ① <sup>a</sup>LSD<sub>0.05</sub>=7.2, 1.1 and 12.1; <sup>a</sup>LSD<sub>0.01</sub>=10.0, 1.5 and 16.7 (Refer to N, P and K respectively); ② <sup>b</sup>LSD<sub>0.05</sub>=9.2, 2.0 and 4.0; <sup>b</sup>LSD<sub>0.01</sub>=12.8, 2.7 and 5.5 (Refer to N, P and K respectively).

从玉米覆膜的作用看,覆膜使间作玉米氮、磷、钾吸收量较不覆膜增加 22.6%、20.1%、18.1%,而覆膜使单作玉米氮、磷、钾吸收量较不覆膜分别增加 12.9%、11.8%、12.0%;玉米覆膜使根系不分隔间作小麦氮、磷、钾吸收量分别增加 9.7%、7.3%、14.6%,而玉米覆膜对根系分隔间作小麦氮、磷、钾吸收量影响不明显,未达到显著水平。由此可见,玉米覆膜条件下小麦/玉米间作显著的氮、磷、钾养分吸收优势主要来自于间作小麦氮、磷、钾吸收量的显著提高和间作玉米氮、磷、钾吸收量的大幅度提高两个方面。

## 2.2 地上部因素和地下部因素对间作优势的相对贡献

### 2.2.1 对产量间作优势的相对贡献 当种间根系

不分隔时小麦/玉米间作系统间作优势来自地上部和地下部因素综合作用的结果,当种间根系用塑料膜分隔时间作优势仅来自地上部种间相互作用的结果,两者相减则得仅有地下部种间相互作用时的间作优势。采用百分比法求得,玉米不覆膜时,地上部和地下部因素对小麦/玉米间作系统籽粒产量间作优势的相对贡献均表现为地上部因素贡献大于地下部,其中地上部贡献占 3/4、地下部贡献占 1/4;玉米覆膜时,地上部和地下部因素对小麦/玉米间作系统籽粒产量间作优势的相对贡献也表现为地上部贡献大于地下部,且均为地上部贡献占 2/3、地下部占 1/3(表 3)。比较可以得出,两种条件下,籽粒产量和生物产量间作优势均明显表现出地上部贡献大于地下部;玉米覆膜不仅能显著增加小麦/玉米间作产

量优势,而且能显著提高产量间作优势地下部的贡献率。

表 3 地下部因素和地上部因素对小麦/玉米间作中产量间作优势的贡献

Table 3 Contribution of above-ground and under-ground to intercropping advantage of yield in the wheat/maize intercropping system

产量 Yield	覆膜 Plastic film mulching	间作优势和贡献率 Increased yield and relative contribution	地上部+地下部 Above-ground and under-ground	地上部 Above-ground	地下部 Under-ground	
籽粒产量 Grain	玉米不覆膜 Without mulching	间作优势(kg/hm <sup>2</sup> ) Intercropping advantage	2942	2171	771	
		相对贡献率(%) Relative contribution	100	73.8	26.2	
	玉米覆膜 Mulching	间作优势(kg/hm <sup>2</sup> ) Intercropping advantage	4243	2889	1354	
		相对贡献率(%) Relative contribution	100	68.1	31.9	
	生物学产量 Biomass	玉米不覆膜 Without mulching	间作优势(kg/hm <sup>2</sup> ) Intercropping advantage	5706	4205	1501
			相对贡献率(%) Relative contribution	100	73.7	26.3
玉米覆膜 Mulching		间作优势(kg/hm <sup>2</sup> ) Intercropping advantage	7809	5214	2595	
		相对贡献率(%) Relative contribution	100	66.8	33.2	

2.2.2 对养分吸收间作优势的相对贡献 当种间根系不分隔时小麦/玉米间作系统养分吸收优势既来自地上部种间相互作用又来自地下部种间相互作用的结果,当种间根系用塑料膜分隔时养分吸收优势仅来自地上部种间相互作用;两者相减则得仅有地下部种间相互作用时的养分吸收优势。采用百分比法求得,地上部和地下部因素对小麦/玉米间作系统氮、磷、钾养分吸收优势的相对贡献当玉米不覆膜时分别为 66.7%和 33.3%、68.4%和 31.6%、51.1%和 48.9%,其中氮、磷地上部贡献大于地下部,地上部与地下部分别占 2/3 和 1/3,钾则表现为地上部与地下部贡献相等(各占 1/2);当玉米覆膜时分别为 52.0%和 48.0%、55.0%和 45.0%、51.6%和 48.4%,其中氮、钾地上部与地下部贡献相等(各占 50%左右),磷以地上部贡献大于地下部(表 4)。分析比较可以得出,玉米覆膜能显著增加小麦/玉米间作系统氮、磷吸收优势地下部贡献率,但对钾吸收优势地上部和地下部贡献影响不明显。说明间作作物氮、磷营养吸收对地膜覆盖引起的土壤养分环境变化依赖性明显;而土壤较高的供钾水平使得间作作物钾营养吸收对地膜覆盖引起的土壤钾素养分变化依赖性不明显。

### 3 讨论

大量研究证明多种间作体系存在间作优势,李

隆等<sup>[1,9]</sup>研究得出小麦/大豆和蚕豆/玉米两种间作方式都具有明显的间作优势;Li W X 等<sup>[5]</sup>研究得出小麦/蚕豆间作也具有明显的间作优势;刘广才<sup>[2]</sup>研究得出大麦/玉米间作在玉米覆膜条件下也具有明显的间作优势。本研究得出小麦/玉米间作在玉米不覆膜和覆膜两种条件下都具有明显的间作优势。此外,在高粱/大豆、小麦/绿豆、小麦/鹰嘴豆、大麦/苜蓿等间作系统也证实了与单作相比,间作具有明显的产量优势。但并非所有的间作组合都有间作优势。李隆等<sup>[1]</sup>发现蚕豆/豌豆间作中籽粒产量和生物学产量的土地当量比小于 1,这种间作系统无产量优势;刘广才<sup>[2]</sup>研究得出小麦/玉米间作在不施氮条件下为间作劣势,大麦/玉米间作在玉米不覆膜条件下为间作劣势。说明要获得间作优势,不仅间作作物种类的优选和组合是非常必要的,而且施肥和覆盖地膜等资源的合理配置也十分重要。

目前,关于地上部与地下部因素对间作优势的相对贡献研究仍比较少。赵秉强<sup>[3]</sup>研究了冬小麦/早春玉米间作中小麦边行优势以地上部贡献为主,占 75%,地下部贡献为辅,占 25%;李隆<sup>[1]</sup>和 Zhang 等<sup>[16]</sup>对小麦/玉米和小麦/大豆两种间作中小麦边行优势地上部与地下部因素的相对贡献做了详细研究,小麦/玉米和小麦/大豆间作中小麦边行比内行增产分别达到了 74%和 53%,地上部与地下

表 4 地下部因素和地上部因素对小麦/玉米间作中养分吸收间作优势的贡献

Table 4 Contribution of above-ground and under-ground to intercropping advantage of nutrient uptake in the wheat/maize intercropping system

养分 Nutrient	覆膜 Plastic film mulching	间作养分优势和贡献率 Increased nutrient uptake and relative contribution	地上部+地下部 Above-ground and under-ground	地上部 Above-ground	地下部 Under-ground
氮 Nitrogen	玉米不覆膜 Without mulching	间作优势(kg/hm <sup>2</sup> ) Intercropping advantage	76.38	50.92	25.46
		相对贡献率(%) Relative contribution	100	66.7	33.3
	玉米覆膜 Mulching	间作优势(kg/hm <sup>2</sup> ) Intercropping advantage	107.02	55.66	51.36
		相对贡献率(%) Relative contribution	100	52.0	48.0
磷 Phosphorus	玉米不覆膜 Without mulching	间作优势(kg/hm <sup>2</sup> ) Intercropping advantage	14.68	10.04	4.64
		相对贡献率(%) Relative contribution	100	68.4	31.6
	玉米覆膜 Mulching	间作优势(kg/hm <sup>2</sup> ) Intercropping advantage	17.29	9.52	7.78
		相对贡献率(%) Relative contribution	100	55.0	45.0
钾 Potassium	玉米不覆膜 Without mulching	间作优势(kg/hm <sup>2</sup> ) Intercropping advantage	92.58	47.32	45.26
		相对贡献率(%) Relative contribution	100	51.1	48.9
	玉米覆膜 Mulching	间作优势(kg/hm <sup>2</sup> ) Intercropping advantage	111.62	57.61	54.01
		相对贡献率(%) Relative contribution	100	51.6	48.4

部因素的相对贡献分别为 63% 和 37%、57% 和 43%；而 Li 等<sup>[17]</sup>研究发现，在蚕豆/玉米间作体系中，地下部和地上部相互作用对产量优势的贡献具有同等重要性。刘广才<sup>[4]</sup>研究得出，大麦/玉米间作系统在玉米覆膜条件下产量间作优势主要来自地上部贡献，其相对贡献以地上部占 80%、地下部占 20%。本研究得出小麦/玉米间作系统在玉米不覆膜条件下，地上部和地下部因素对产量间作优势的相对贡献分别为 75% 和 25%；在玉米覆膜条件下，产量间作优势的相对贡献地上部为 2/3、地下部为 1/3，玉米覆膜能明显增加小麦/玉米间作系统产量间作优势地下部的相对贡献。刘广才<sup>[2]</sup>还研究发现，大麦竞争氮、磷、钾营养的能力比小麦强，特别是地下部大麦与玉米之间的营养竞争比小麦与玉米之间的营养竞争强烈，这是大麦/玉米间作系统间作优势地上部贡献率大于小麦/玉米间作系统的原因。可见，不同的作物组合其地上部与地下部因素对间作优势的相对贡献不同；覆膜、施肥等措施可以调控地上部与地下部因素对间作优势的相对贡献率。

## 参 考 文 献:

- [1] 李 隆. 间作作物种间促进与竞争使用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 1999.
- [2] 刘广才. 不同间套作系统种间营养竞争的差异性及其机理研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
- [3] 赵秉强, 余松烈, 李凤超. 间套带状小麦高产原理与技术[J]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004. 34—49.
- [4] 刘广才, 李 隆, 黄高宝, 等. 大麦/玉米间作优势及地上部和地下部因素的相对贡献研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(9): 1787—17959.
- [5] Li W X, Li L, Sun J H, et al. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers and intercropping on uptake of nitrogen and phosphorus by wheat, maize and faba bean [J]. Plant Nutrition, 2001, 26(3): 629—642.
- [6] Vandermeer J. The Ecology of intercropping [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 68—103.
- [7] Francis C A. Multiple Cropping Systems [M]. New York: Macmillan Publishing Company, 1986.
- [8] Willey R W. Intercropping—Its importance and research needs—part I. Competition and yield advantages [J]. Field Crops Abstract, 1979, 32(1): 1—10.
- [9] Li L, Sun J H, Zhang F S, et al. Wheat/maize or wheat/soybean

- strip intercropping I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients [J]. *Field Crops Research*, 2001, 71; 123—137.
- [10] Willey R W, Reddy M S. A field technique for separating above- and below-ground interactions in intercropping; an experiment with pearl millet/groundnut [J]. *Experimental Agriculture*, 1981, 17; 257—264.
- [11] Ong C K. The 'dark side' of intercropping; manipulation of soil resources [A]. INRA. Sinoquet and Cruz. *Ecophysiology of Tropical Intercropping*[C]. Paris, INRA, 1995.
- [12] Snaydon R W, Harris P M. Interaction below ground—the use of nutrients and water [A]. ICRISAT. *Proceedings of international workshop on intercropping*[C]. Hyderabad: ICRISAT, 1981. 188—201.
- [13] Willey R W. Intercropping—Its importance and research needs. Part II. Agronomy and research approaches [J]. *Field Crops Abstract*, 1979b, 32(2); 73—85.
- [14] Willey R W, Rao M R. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops [J]. *Experimental Agriculture*, 1980, 16; 117—125.
- [15] Morris R A, Garrity D P. Resource capture and utilization in intercropping; non-nitrogen nutrients [J]. *Field Crops Research*, 1993, 34; 319—334.
- [16] Zhang F S, Li L, Sun J H. Contribution of above- and below-ground interactions to intercropping [A]. Horst. *Plant Nutrition—Food security and sustainability of agro-ecosystems*[C]. Netherlands; Kluwer Academic Publishers, 2001. 978—979.
- [17] Li L, Yang S C, Li X L, et al. Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean [J]. *Plant and Soil*. 1999, 212; 105—114.

## Intercropping advantage and contribution of above-ground and under-ground interactions in wheat-maize intercropping

LI Lai-xiang<sup>2</sup>, LIU Guang-cai<sup>1</sup>, LI Long<sup>3</sup>

(1. Gansu Agro-technology Extension Station, Lanzhou 730020; 2. Tianshui Agro-technical Extension Station, Tianshui, Gansu 74100; 3. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 10094, China)

**Abstract:** A micro plot experiment and a root barrier technique were employed to investigate the intercropping advantage and the relative contribution of above-ground and under-ground interactions to the yield and nutrient uptaking in the wheat-maize intercropping system with or without plastic sheet mulching. The results showed that the land equivalent ratios (*LERs*) of both grain yield and biomass were 1.30 and 1.29 respectively for the intercropping of wheat and maize without plastic sheet mulching, showing a evident yield advantage of the intercropping. However, *LERs* with plastic sheet mulching were 1.41 for grain yield and 1.40 for biomass, indicating a significant yield advantage of the intercropping. There was evident advantage of nutrient uptaking in the intercropping of wheat and maize without plastic sheet mulching, whereas there was greatly significant advantage of nutrient uptaking in the intercropping with plastic sheet mulching. The contributions of above-ground and under-ground interactions to the intercropping advantage of both grain yield and biomass were 75% and 25% respectively for the intercropping without plastic sheet mulching. However, results of both grain yield and biomass were 67% and 33% respectively for the intercropping with plastic sheet mulching. The contribution of above-ground and below-ground interactions to the increase of nutrient uptaking were 67% and 33% for nitrogen, 67% and 33% for phosphorus, 50% and 50% for potassium respectively when intercropped maize was not mulched with plastic sheet. However, results of nutrient uptaking were 50% and 50% for nitrogen, 55% and 45% for phosphorus, 50% and 50% for potassium respectively when intercropped maize was mulched with plastic sheet.

**Key words:** wheat-maize intercropping; intercropping advantage; above-ground interaction; under-ground interaction; relative contribution.